

Zusätzliche Umgebungsüberwachung
im Bereich des Endlagers Asse

Bericht für das Jahr 2010

Landwirtschaftskammer

Bezirksstelle Braunschweig

und

LUFA Nord-West, Institut für Futtermittel,

Bereich Rückstandsanalytik

Oldenburg, 18.4.2011

1	EINLEITUNG	4
1.1	Art und Umfang der Untersuchungen	5
1.1.1	Zu untersuchende Umweltmedien	5
1.1.2	Probenahmefrequenzen	5
1.1.3	Geplante Probenahmezeiträume	6
1.1.4	Probenahmeplanung	6
1.1.5	Probenahmeorte	7
1.1.6	Probenahme	9
1.1.7	Probentransport	9
2	ÜBERSICHT DER DURCHGEFÜHRTEN PROBENAHMEN	9
3	MESSVERFAHREN UND MESSPROGRAMM	13
3.1	Gammastrahlungsmessung	13
3.2	Strontium-90 Messung	13
4	MESSWERTE UND ERGEBNISSE	14
4.1	Nachweisgrenzen	14
4.2	Messwerte für H-3	15
4.3	Messwerte für Kalium 40	16
4.4	Messwerte für Cs-137	17
4.5	Messwerte für Ra-226	18
4.6	Messwerte für Sr-90	19
5	INTERPRETATION DER MESSWERTE	20
5.1	Kalium 40 (K-40)	20
5.2	Cäsium 137 (Cs-137)	21
5.3	Radium 226 (Ra-226)	22
5.4	Strontium 90 (Sr-90)	22
6	ANHANG:	23
6.1	Probenahme	23
	Boden	23
6.1.1	Entnahmetiefen	24
6.1.1.1	Ackerböden	24
6.1.1.2	Weiden, Wiesen und andere unbearbeitete Böden	24
6.1.1.3	Waldböden	25
6.1.2	Gras	25
6.1.3	Mais, Getreide, Raps, Rüben	26
6.1.3.1	Allgemeines zur Probennahme:	26
6.1.3.2	Mais	26
6.1.3.3	Getreide und Raps	27
6.1.3.4	Rüben	27

6.1.4	Milch.....	27
6.1.5	Obst und Gemüse.....	28
6.1.6	Wasser.....	29
6.1.7	Laub.....	29
6.1.8	Nadeln.....	29
6.2	Probenvorbereitung.....	29
6.2.1	Gammastrahlenspektrometrie.....	29
6.2.1.1	Boden.....	29
6.2.1.2	Gras, Blätter, Nadeln.....	30
6.2.1.3	Mais.....	30
6.2.1.4	Getreide, Raps.....	30
6.2.1.5	Rüben.....	30
6.2.1.6	Milch.....	30
6.2.1.7	Gemüse und Obst.....	31
6.2.1.7.1	Normiertes Waschen der Proben.....	31
6.2.1.8	Wasser.....	32
6.2.2	Strontium-90 Analysen.....	32
6.2.2.1	Boden, Gras, Blätter, Mais, Getreide, Raps, Rüben.....	32
6.2.2.2	Obst und Gemüse.....	32
6.2.2.3	Milch.....	32
6.2.2.4	Wasser.....	32
6.3	Gammastrahlenspektrometrie.....	33
6.3.1	Aufbau eines Gammastrahlenspektrometers.....	33
6.3.1.1	Detektor.....	34
6.3.1.2	Abschirmung.....	34
6.3.1.3	Elektronik.....	34
6.3.1.4	Auswerteeinheit.....	34
6.3.2	Prinzip der Gammamessung.....	35
6.3.2.1	Energiekalibrierung des Gammastrahlenspektrometers.....	36
6.3.2.2	Intensitätskalibrierung des Gammastrahlenspektrometers.....	37
6.4	Sr-90 Messung.....	38
6.4.1	Verwendete Messsysteme.....	38
6.4.1.1	Messprinzip.....	39
6.4.1.2	Messprinzip der Proportionalzählrohre (Gasgefüllte Detektoren).....	40
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	41

1 Einleitung

Nachdem die Schachanlage Asse II mit Ablauf des Jahres 2008 nicht mehr nach Bergrecht, sondern als Endlager nach Atomrecht betrieben wird und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als Betreiber für den Betrieb und die Stilllegung der Anlage verantwortlich ist, werden neben den nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Teil C2 Endlager für radioaktive Abfälle, vorgeschriebenen Überwachungsmaßnahmen ergänzende Überwachungen verschiedener Umweltmedien in der Umgebung der Schachanlage Asse II durchgeführt. Diese ergänzende Umgebungsüberwachung wurde initiiert von den örtlichen Landwirten. Mit der Durchführung der ergänzenden Umgebungsüberwachung ist seit 2009 die LUFA Nord-West, sowie die Bezirksstelle Braunschweig der Landwirtschaftskammer Niedersachsen beauftragt, die für die Probenahme zuständig ist. Weitere Mitwirkende an diesen Überwachungsmaßnahmen sind die Bürgerinnen und Bürger der involvierten Gemeinden, die geeignetes Probenmaterial bereitstellen. Darüber hinaus erfolgt eine Abstimmung mit der Arbeitsgemeinschaft „Umgebungsüberwachung Schachanlage Asse II“.

Diese ergänzenden Überwachungsmaßnahmen unterscheiden sich in Umfang, Art und Anzahl der Messungen von den gesetzlich vorgeschriebenen. Es handelt sich bei dieser Überwachung um KEINE gesetzlich vorgeschriebene Maßnahme, die sich an bestimmte Vorgaben hinsichtlich der zu überwachenden Medien halten muss. Vielmehr orientiert sich diese ergänzende Umgebungsüberwachung an den Medien, mit denen die Bürgerinnen und Bürger der Region DIREKT in Kontakt treten könnten.

Ziel dieser Überwachungsmaßnahmen ist es demnach, die Umweltmedien zu untersuchen, die den Bürgern in der näheren Umgebung am wichtigsten sind. Dazu zählen neben Futtermitteln, Obst, Gemüse, Milch, Oberflächenwasser, Laub, Nadeln auch Grund- und Trinkwässer aus umliegenden Brunnen. Es geht in diesem Programm darum, das Vertrauen in die Sicherheit der Nahrungsmittel und der Lebensgrundlagen im Umfeld der Asse II zu sichern und zu erhalten und darüber hinaus ökonomische Werte und Existenzgrundlagen in der Region abzusichern.

Es wird darauf hingewiesen, dass Inhalt und Umfang dieses Programms mit Vertretern des Bundesamtes für Strahlenschutz, der Asse GmbH, des Landvolkes Niedersachsen e.V., der Bezirksstelle Braunschweig der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sowie der LUFA Nord-West abgestimmt wurden.

1.1 Art und Umfang der Untersuchungen

1.1.1 Zu untersuchende Umweltmedien

Untersucht werden hauptsächlich die Umweltmedien, mit denen die betroffenen Bürgerinnen und Bürger direkten Kontakt haben können. Die nachfolgend aufgeführten Umweltmedien / Probenarten wurden während dieser ergänzenden Umgebungsüberwachung untersucht:

- Boden
- Gras
- Mais
- Getreide
- Raps
- Zuckerrüben
- Milch
- Gemüse
- Obst
- Wasser
- Nadeln
- Laub

1.1.2 Probenahmefrequenzen

Soweit möglich wurde jede Probenart zweimal jährlich beprobt. Aufgrund der Vegetationsperiode bestimmter Pflanzen (nur eine Reife pro Jahr) war dieses Ziel nicht immer realisierbar.

1.1.3 Geplante Probenahmezeiträume

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den geplanten Probenahmezeiträumen.

Medium	Frequenz	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Boden	2/a												
Gras	2/a												
Mais	1/a												
Getreide	1/a												
Raps	1/a												
Zuckerrüben	1/a												
Milch	2/a												
Gemüse	2/a												
Obst	1/a												
Wasser	2/a												
Nadel	2/a												
Laub	1/a												

Tabelle 1: Geplante Probenahmezeiträume

1.1.4 Probenahmeplanung

In Tabelle 2 ist die ursprüngliche Planung der Anzahl der jeweiligen Proben je Radius um die Schachanlage und die Probenart aus dem Jahr 2009 aufgeführt. Nachdem schon im letzten Jahr festgestellt wurde, dass einige Probenarten in bestimmten Radien nicht zur Verfügung stehen, wurde als Planungsgrundlage die durchgeführten Probenahmen aus dem Jahr 2009 herangezogen (und eine neue Planung aufgestellt (siehe dazu Tabelle 3).

Medium	Radien			Frequenz	Summe
	1 km	5 km	20 km		
Boden	4	4	4	2/a	24
Gras	4	4	4	2/a	24
Mais	4	4	4	1/a	12
Getreide	4	4	4	1/a	12
Raps	4	4	4	1/a	12
Zuckerrüben	4	4	4	1/a	12
Milch	-	4	4	2/a	16
Gemüse	4	4	4	2/a	24
Obst	4	4	4	1/a	12
Wasser	5	10	0	2/a	30
Nadel	4	4	0	1/a	8
Laub	4	4	0	1/a	8
				Summe	194

Tabelle 2: Probenahmeplanung 2009, Anzahl der jeweiligen Proben je Radius

Medium	Radien			Summe
	1 km	5 km	20 km	
Boden	8	8	8	24
Gras	8	8	8	24
Mais	0	8	4	12
Getreide	4	4	4	12
Raps	4	4	4	12
Zuckerrüben	1	7	4	12
Milch	0	0	16	16
Gemüse	0	8	16	24
Obst	0	8	4	12
Wasser	2	26	2	30
Nadel	4	4	0	8
Laub	4	4	0	8
insgesamt	35	89	70	194

Tabelle 3: Probenahmeplanung 2010, Anzahl der jeweiligen Proben je Radius

1.1.5 Probenahmeorte

Die Probenahmeorte wurden in Umkreisen von 1, 5 und 20 km um die Schachtanlage Asse II gewählt. Die exakten Koordinaten der jeweiligen Probenahmepunkte wurden während der Probenahme mittels GPS ermittelt, werden an dieser Stelle aber aus Datenschutzgründen nicht aufgeführt.

In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind verschiedene Radien um die Schachtanlage Asse II dargestellt. Für die exakten Probenahmepunkte siehe Kapitel 2.



Abbildung 1: 1 km Umkreis um die Schachanlage Asse

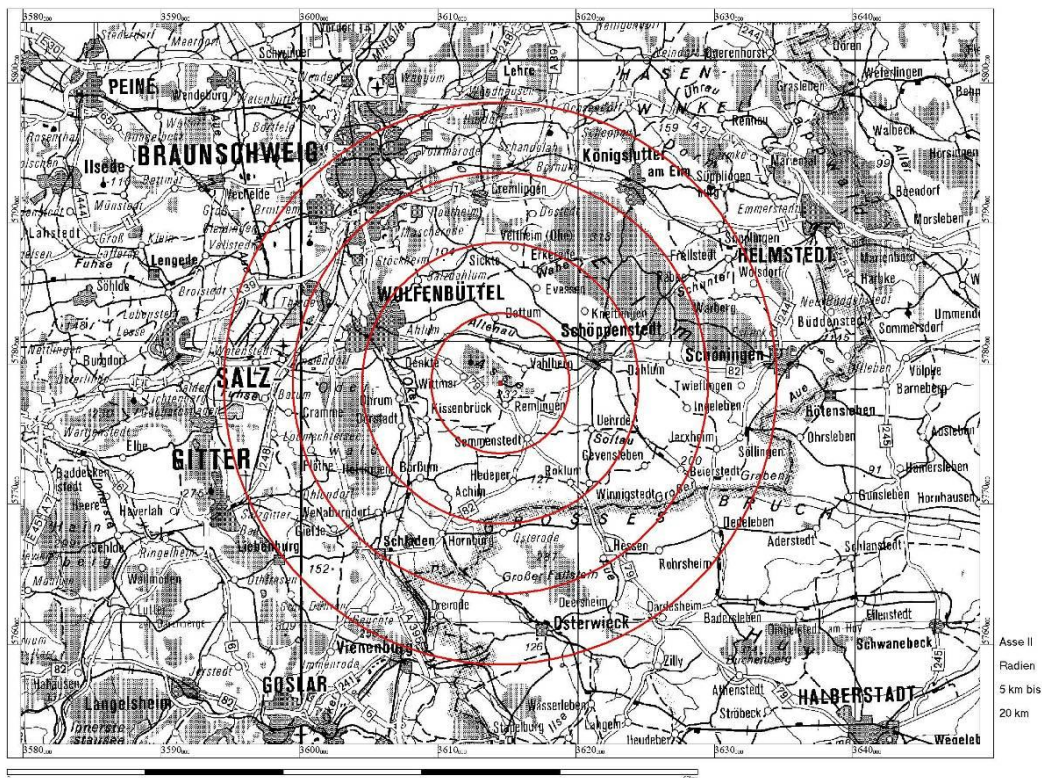


Abbildung 2: Radien von 5, 10, 15, 20 km um die Asse

1.1.6 Probenahme

Die Probenahme erfolgt nach den „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen“, (Herausgeber: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - BMU) zu den in der

Tabelle 1 genannten Zeiträumen. Die Probenahme wurde ausschließlich von geschulten Probenehmern der Bezirksstelle Braunschweig durchgeführt. Nähere Informationen zur Probenahme sind in Kapitel 3 und 6.1 beschrieben.

1.1.7 Probentransport

Alle Proben wurden gekühlt auf dem schnellsten Wege direkt in das Untersuchungslabor der LUFA Nord-West verbracht.

2 Übersicht der durchgeführten Probenahmen

Insgesamt wurden 198 Probenahmen durchgeführt. In der Tabelle 4 ist eine nach Umweltmedien (Probenarten) sortierte Übersicht zu den Probenahmen für das Jahr 2010 aufgeführt. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, konnten an einigen Stellen leider die ursprüngliche Planung nicht eingehalten werden. Abweichungen vom Plan sind jeweils grau hinterlegt markiert. Die Abweichungen kommen dadurch zu Stande, dass in einigen Radien die geplanten Probenahmen nicht durchgeführt werden konnten, da die jeweiligen Medien nicht erhältlich waren. Waren Proben nicht im geplanten Radius erhältlich, wurde die Probenahme in dem jeweils nächst größeren Radius durchgeführt, so dass die Anzahl der untersuchten Proben für das Medium jeweils konstant blieb. Weitere Abweichungen von der Planung waren bei Mais (doch im 1 km Radius erhältlich), Zuckerrüben (2 Proben im 1 Km Radius, dafür nur 6 im 5 km Radius) und Nadeln (Nur 3 statt 4 Proben im 1 km Radius, dafür 5 im 5 km Radius) zu verzeichnen. Bei Gras wurden im 1 km Radius 2 Proben mehr gezogen, beim Getreide eine Mehr im 5 km Radius sowie beim Gemüse eine mehr im 20 km Radius.

Medium	Geplante Probenahme 2010			Summe	Durchgeführte Probenahmen 2010			Summe
	1 km	5 km	20 km		1 km	5 km	20 km	
Boden	8	8	8	24	8	8	8	24
Gras	8	8	8	24	10	8	8	26
Mais	0	8	4	12	2	6	4	12
Getreide	4	4	4	12	4	5	4	13
Raps	4	4	4	12	4	4	4	12
Zuckerrüben	1	7	4	12	2	6	4	12
Milch	0	0	16	16	0	0	16	16
Gemüse	0	8	16	24	0	8	17	25
Obst	0	8	4	12	0	8	4	12
Wasser	2	26	2	30	2	26	2	30
Nadel	4	4	0	8	3	5	0	8
Laub	4	4	0	8	4	4	0	8
insgesamt	35	89	70	194	39	88	71	198

Tabelle 4: Vergleich der geplanten und durchgeführten Probenahmen im Jahr 2010

Auf den folgenden Seiten sind in Abbildung 4 und in Abbildung 6 die Probenahmepunkte dargestellt. Abbildung 4 zeigt alle im Jahr 2009 durchgeführten Probenahmen als Punkte in einer Karte mit einem Radius von 20 km um die Schachanlage Asse. Zum Vergleich dazu sind in Abbildung 3 alle im Jahr 2010 durchgeführten Probenahmen aufgeführt. Wie man diesen Abbildungen entnehmen kann, wurden die Probenahmepunkte so gewählt, dass möglichst alle Himmelsrichtungen vertreten sind. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass nicht sämtliche Medien gleichmäßig um die Asse verteilt vorkommen. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Probenahmepunkte in den Jahren 2009 und 2010 aufgeschlüsselt nach beprobten Medien, der besseren Übersicht halber ohne kartografischen Hintergrund. Es wurde dabei großen Wert darauf gelegt, alle Probenahmen am gleichen Ort wie im Vorjahr durchzuführen.

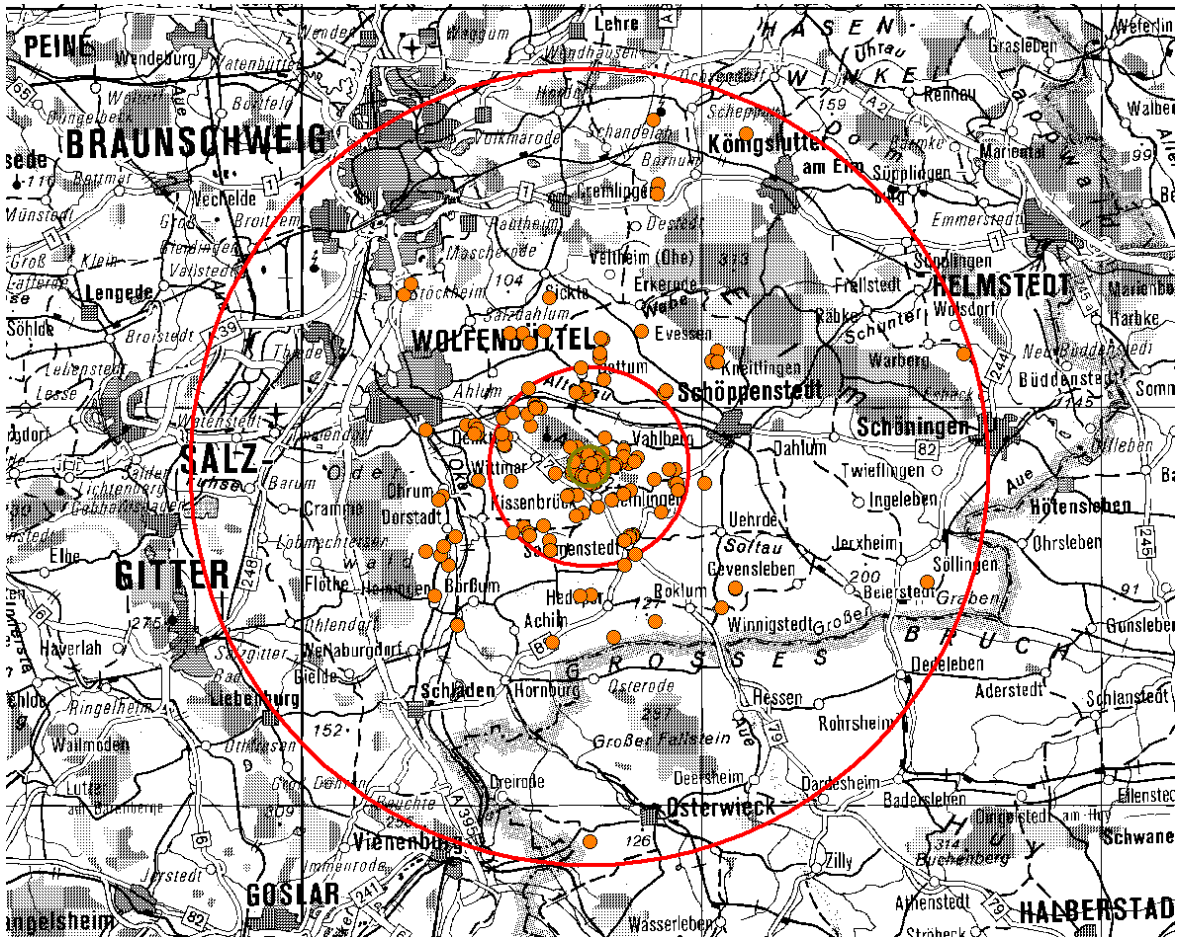


Abbildung 3: Im Jahr 2010 gezogene Proben
 - äußerer Kreis = 20 km Radius, innerer Kreis (rot) = 5 km Radius, innerer Kreis (grün) = 1 km Radius

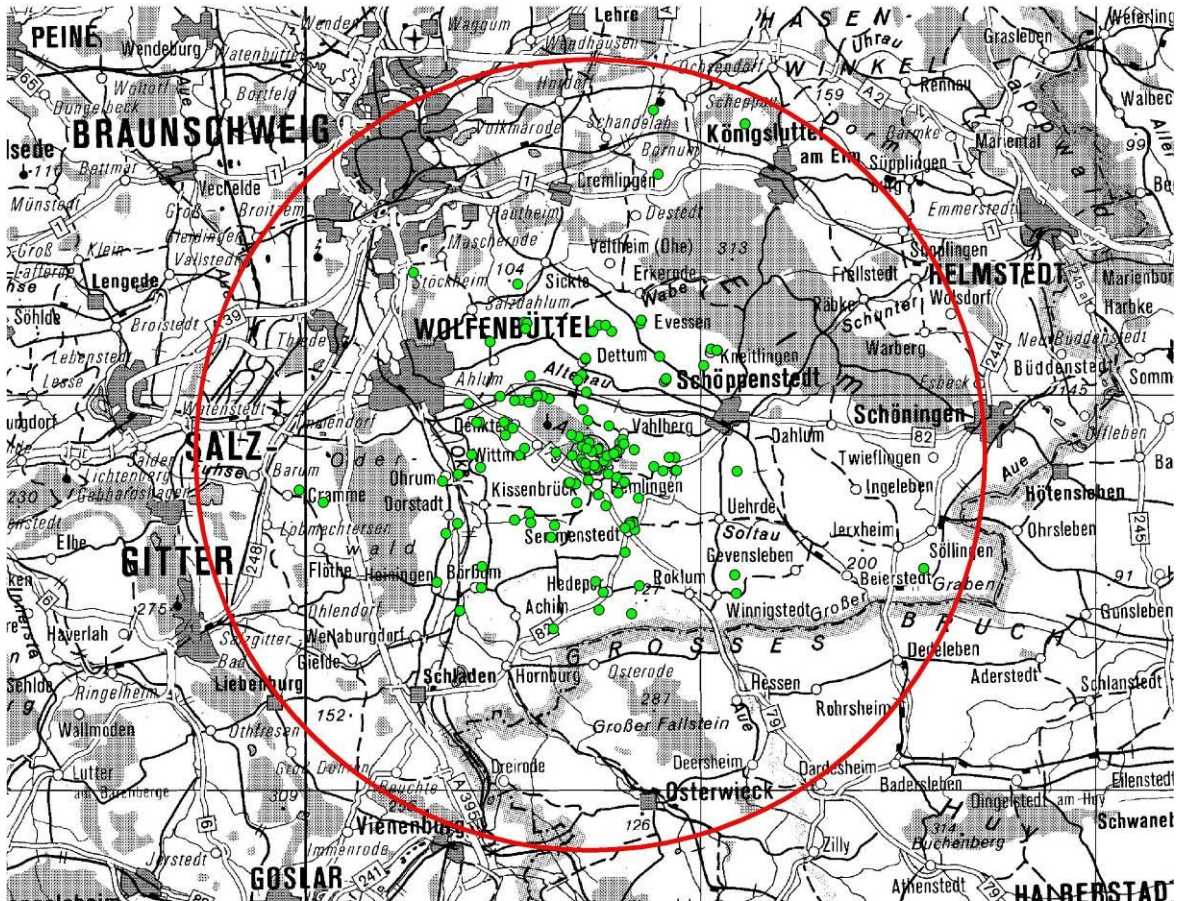


Abbildung 4: Im Jahr 2009 gezogene Proben - Kreis = 20 km Radius

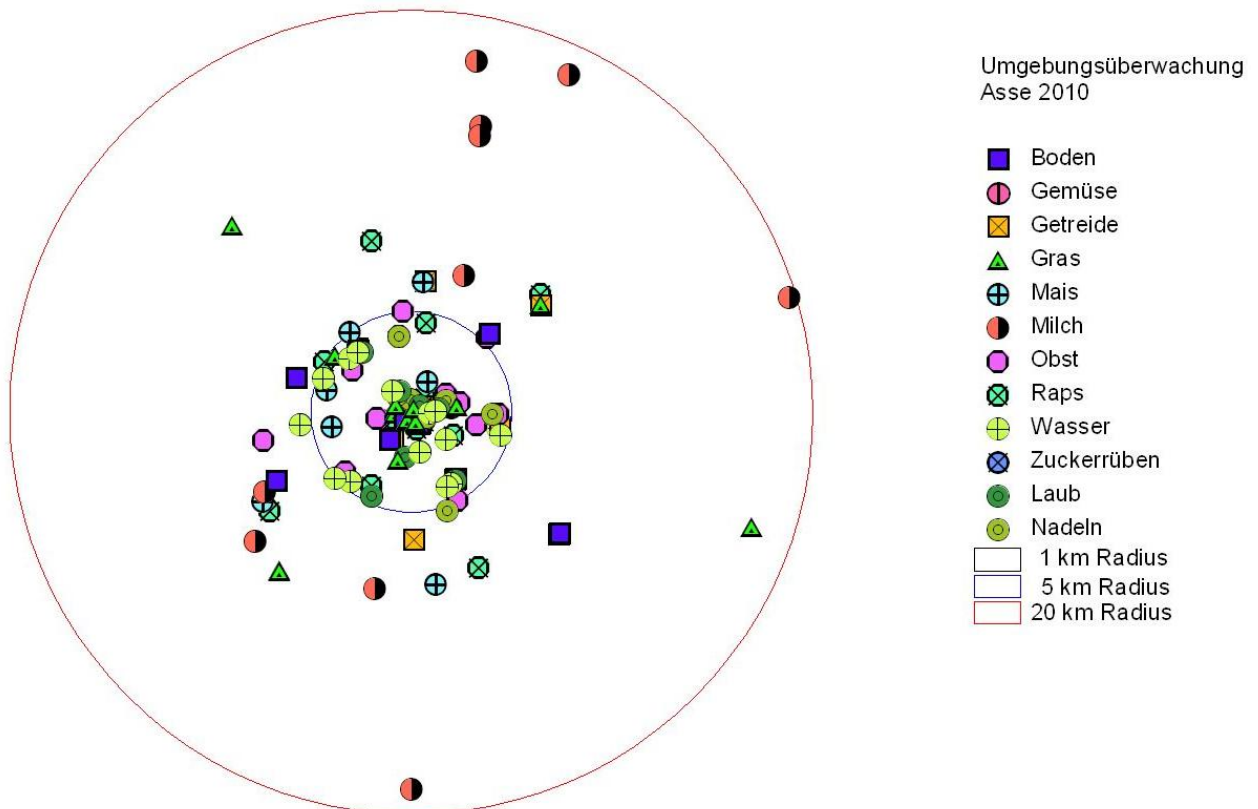


Abbildung 5 Im Jahr 2010 gezogene Proben nach Probenarten, innerer Kreis 5 km, äußerer Kreis 20 km

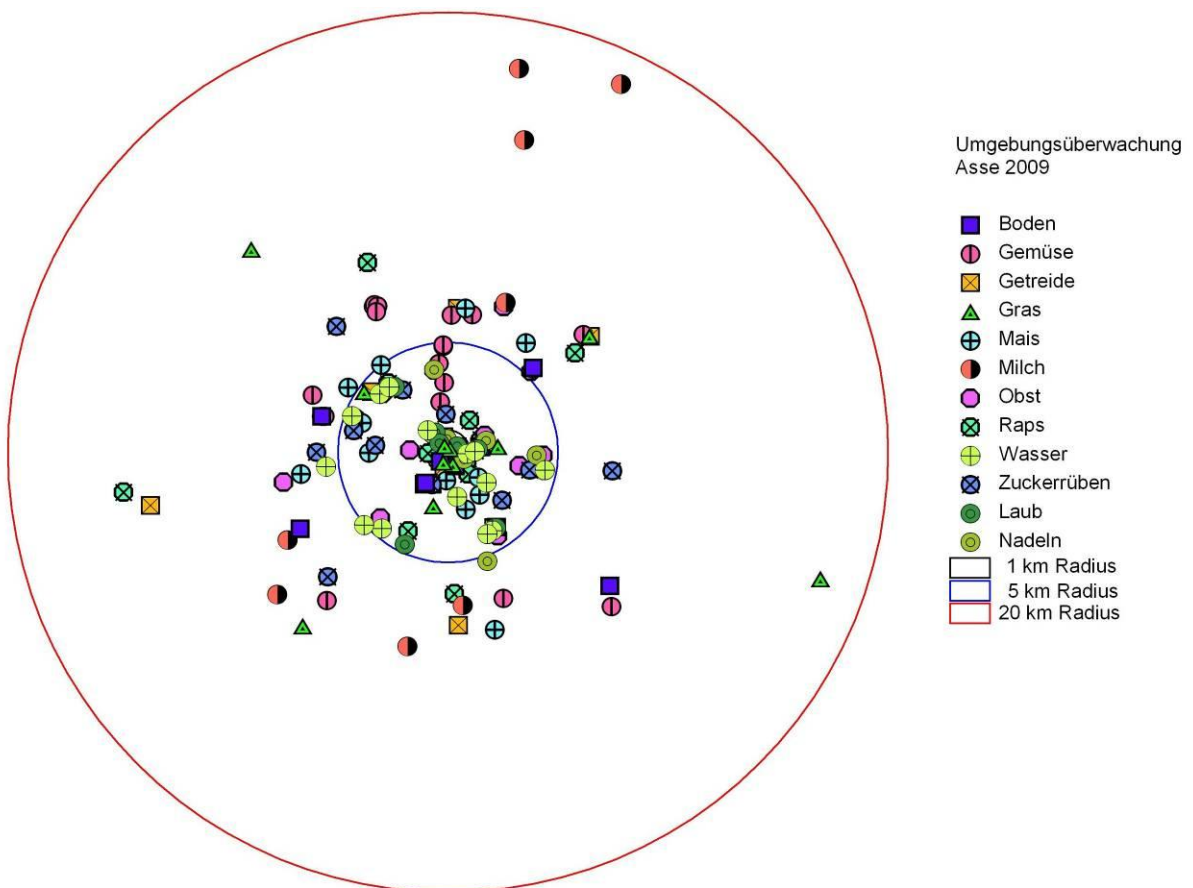


Abbildung 6: Im Jahr 2009 gezogene Proben nach Probenarten, innerer Kreis 5 km, äußerer Kreis 20 km

3 Messverfahren und Messprogramm

Die in der LUFA Nord-West durchgeführten Untersuchungen zur Bestimmung der Aktivität von Beta- und Gammastrahlern erfolgten mit anerkannten Verfahren. Die verwendeten Methoden sind den „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen“ zu entnehmen.

Zur Qualitätssicherung wurden und werden neben der Teilnahme an Ringversuchen umfangreiche weitere QM-Maßnahmen innerhalb des Labors durchgeführt.

Das Messprogramm war vom Umfang der zu untersuchenden Nuklide und von den Nachweisgrenzen her angelehnt an die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV- IMIS). Die in diesem Bericht veröffentlichten Daten werden nach Beendigung der diesjährigen Messkampagne in IMIS eingestellt und können somit mit bestehenden Daten verglichen werden.

Alle Proben wurden gammaspektrometrisch vermessen und zusätzlich auf die Aktivität von Strontium 90 (Sr-90) hin überprüft. Darüber hinaus wurden Wasserproben auf die Aktivität von Tritium (H-3) hin untersucht.

3.1 Gammaspektrometrie

Nach Ankunft der Proben im Labor der LUFA Nord-West wurden diese sofort bearbeitet. Zunächst wurden alle eingegangenen Proben einer Vorbereitung (u.a. trocknen und mahlen) unterzogen. Diese ist je nach Probenart unterschiedlich. Details zu den verschiedenen Probenvorbereitungen finden sich im Kapitel 6.2.1. Die entsprechend vorbereiteten Proben für die Gammaspektrometrie wurden in einen 1 Liter Marinellibecker eingewogen und die Aktivität spezifischer Radionuklide wurde auf einem Reinst-Germanium-Detektor gemessen. Für weitere Details, die die Technik der Messung betreffen, siehe Kapitel 6.3

3.2 Strontium-90 Messung

Proben, bei denen eine Strontium-90 Messung erfolgte, mussten zunächst für die Messung vorbereitet werden. Die Aufarbeitung der Proben zur Strontium-90-Bestimmung erfolgte nach den genannten Vorschriften der Messanleitungen des BMU, siehe dazu auch Kapitel 6.2.2 . Im Anschluss an die Probenvorbereitung wurden die Proben einem radiochemischen Trennungsgang unterzogen, bevor die Bestimmung der Aktivität von Strontium-90 in den Proben mit Hilfe eines „alpha-beta low-level counters“ erfolgte. Weiterführende Informationen zur Probenvorbereitung, der radiochemischen Trennung sowie zur Messung von Beta-Strahlern finden sich in Kapitel 6.4

Die Untersuchung der Wasserproben auf H-3 (Tritium) erfolgte nach Destillation der Wasserproben. Die Aktivität von Tritium wurde mit Hilfe eines Flüssigkeits-Szintillationsspektrometers ermittelt.

4 Messwerte und Ergebnisse

Von den 198 gezogenen Proben wurden insgesamt 30 Wasserproben auf Tritium untersucht. Ferner wurden 198 gammaspektrometrische sowie Untersuchungen auf Beta-Strahler (Strontium 90) durchgeführt.

Die nachfolgenden Tabellen sollen einen Überblick über die erhaltenen Ergebnisse liefern. Aufgeführt sind nach Untersuchungsradien die Probenart, die Anzahl der untersuchten Proben, die Mittelwerte, sowie die Minimal- und Maximalwerte der ermittelten spezifischen Aktivitäten der jeweiligen Nuklide in Bq/kg. Mit Ausnahme von Boden (hier sind die Werte in Bq/kg Trockenmasse, TM angegeben), wurden alle Werte zurückgerechnet auf die Frischmasse (FM), um eine Vergleichbarkeit mit Werten aus IMIS zu gewährleisten. Beim Wasser sind die Werte in Bq/Liter angegeben.

Darüber hinaus werden in den Ergebnistabellen Vergleichswerte dargestellt. Diese Vergleichswerte basieren auf einem Datenbankauszug aus IMIS (Integriertes Mess- und Informations System des Bundes) aus dem Jahr 2010. Die Vergleichswerte zeigen den Bundesdurchschnitt, Minimal- und Maximalwerte von spezifischen Aktivitäten sowie die Anzahl der Messergebnisse auf denen diese Daten beruhen. Zusätzlich aufgeführt ist die Anzahl der Messwerte, bei denen bis zu einer bestimmten Nachweisgrenze keine Aktivitäten gefunden wurden (Anzahl <NWG). Sind keine Werte für eine Kombination aus Nuklid und Probenart angegeben, so waren diese nicht im IMIS verfügbar.

4.1 Nachweisgrenzen

Die Nachweisgrenzen für die jeweilig gemessenen Nuklide in den unterschiedlichen Probenarten sind in Tabelle 5 aufgelistet und orientieren sich, soweit verfügbar, an den zu erreichenden Nachweisgrenzen aus dem Programm für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt durch die Messstellen der Länder (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS)).

	Nachweisgrenzen nach AVV-IMIS		
	Gammastrahlung*	Sr-90	H-3
	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/l]
Boden	0,50	0,05	
Gemüse	0,20	0,04	
Getreide	0,20	0,04	
Gras	0,50	0,05	
Laub-Nadeln			
Mais	0,20	0,04	
Milch	0,20	0,02	
Obst	0,20	0,04	
Raps	0,20	0,04	
Wasser	0,05	0,01	10
Zuckerrüben	0,20	0,04	

Tabelle 5: Nachweisgrenzen der verwendeten Verfahren für die einzelnen Probenarten

* Für die Gammastrahlung sind die Nachweisgrenzen angegeben in Bq/kg bezogen auf Co-60

4.2 Messwerte für H-3

Alle 30 gemessenen Proben hatten keine messbaren Aktivitäten. Die Nachweisgrenze von 10 Bq/l bei den durchgeführten Messungen entsprach den Vorgaben für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt durch die Messstellen der Länder (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS); vgl. Tabelle 4).

4.3 Messwerte für Kalium 40

		Probenart	Boden (Bq/kg TM)	Gemüse (Bq/kg FM)	Getreide (Bq/kg FM)	Gras (Bq/kg FM)	Laub-Nadeln (Bq/kg FM)	Mais (Bq/kg FM)	Milch (Bq/ L)	Obst (Bq/kg FM)	Raps (Bq/kg FM)	Wasser (Bq/L)	Zuckerrüben (Bq/kg FM)
1 km	2009	Anzahl	7	0	4	8	7	0	0	0	4	2	1
		Mittelwert	741		125	562	284				174	<0,01	119
		Minimum	591		121	406	155				167	<0,01	119
		Maximum	909		128	738	517				182	<0,01	119
	2010	Anzahl	8	0	4	10	7	2	0	0	4	2	2
		Mittelwert	710		122	654	271	305			228	<0,01	84
		Minimum	613		110	473	212	295			196	<0,01	79
		Maximum	785		128	864	352	315			250	<0,01	90
5 km	2009	Anzahl	9	8	4	8	9	8	0	10	5	26	7
		Mittelwert	623	170	121	607	210	417		51	177	1	72
		Minimum	556	63	101	379	152	308		36	158	0	57
		Maximum	700	254	132	832	315	516		93	190	7	123
	2010	Anzahl	8	8	5	8	9	6	0	8	4	24	6
		Mittelwert	617	203	144	749	253	397		49	246	1	67
		Minimum	576	107	112	609	200	321		37	238	<0,01	50
		Maximum	663	367	199	896	308	442		74	255	4	89
20 km	2009	Anzahl	8	16	4	8	0	4	16	2	4	1	4
		Mittelwert	617	160	108	538		409	8	47	172	<0,01	60
		Minimum	459	53	97	264		344	7	42	163	<0,01	55
		Maximum	772	280	124	738		499	10	52	193	<0,01	65
	2010	Anzahl	8	17	4	8	0	4	16	4	4	2	4
		Mittelwert	608	201	128	658		484	54	46	232	<0,01	77
		Minimum	494	60	124	407		377	47	40	219	<0,01	70
		Maximum	702	312	131	800		612	67	51	280	<0,01	82
IMIS	2010	Anzahl	482	2230	757	880	160	155	1296	771	39	6	8
		Mittelwert	448	104	129	252	279	377	51	56	278	0,1	393
		Minimum	83	0,40	10	0,17	1	10	18	11,2	187	0,02	63
		Maximum	1390	340	355	1390	768	846	178	296	950	0,2	730
		Anz. <NWG	0	91	21	48	0	0	44	29	0	39	0

Tabelle 6: K-40 Messwerte 2010/2009 sowie IMIS-Vergleichsdaten nach Radien für die untersuchten Probenarten

4.4 Messwerte für Cs-137

		Probenart	Boden (Bq/kg TM)	Gemüse (Bq/kg FM)	Getreide (Bq/kg FM)	Gras (Bq/kg FM)	Laub-Nadeln (Bq/kg FM)	Mais (Bq/kg FM)	Milch (Bq/L)	Obst (Bq/kg FM)	Raps (Bq/kg FM)	Wasser (Bq/L)	Zuckerrüben (Bq/kg FM)	
1 km	2009	Anzahl	7	0	4	8	7	0	0	0	4	2	1	
		Mittelwert	8		<0,01	<0,01	1,00				<0,01	<0,01	0,30	
		Minimum	8		<0,01	<0,01	<0,01				<0,01	<0,01	0,30	
		Maximum	9		<0,01	<0,01	2,00				<0,01	<0,01	0,30	
	2010	Anzahl	8	0	4	10	7	2	0	0	4	2	2	
		Mittelwert	8		<0,01	0,01	0,51	<0,01			<0,01	<0,01	0,17	
		Minimum	5		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	0,03	
		Maximum	9		<0,01	0,13	2,05	<0,01			<0,01	<0,01	0,30	
5 km	2009	Anzahl	9	8	4	8	9	8	0	10	5	26	7	
		Mittelwert	9	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	0,04	
		Minimum	6	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
		Maximum	10	0,14	<0,01	<0,01	0,18	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	0,18	
	2010	Anzahl	8	8	5	8	9	6	0	8	4	24	6	
		Mittelwert	9	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	0,02	<0,01	0,05	
		Minimum	7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
		Maximum	12	0,30	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	0,06	<0,01	0,19	
20 km	2009	Anzahl	8	16	4	8	0	4	16	2	4	1	4	
		Mittelwert	8	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07
		Minimum	5	0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Maximum	11	0,04	<0,01	<0,01		<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10
	2010	Anzahl	8	17	4	8	0	4	16	4	4	4	2	4
		Mittelwert	6	0,04	<0,01	0,14		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,13
		Minimum	4	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Maximum	9	0,21	<0,01	1,11		<0,01	0,45	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,33
IMIS	2010	Anzahl	499	102	71	384	125	30	393	14	6	3	7	
		Mittelwert	17	0,3	0,29	4,26	21,3	0,9	0,3	0,37	0,5	<0,01	1	
		Minimum	0,1	0,03	0,03	<0,01	0,11	0,2	<0,01	0,16	0,2	<0,01	0,09	
		Maximum	374	5,2	22	569	1130	4,8	5,8	2,77	1,3	<0,01	1,61	
		Anz. <NWG	0	2246	708	565	36	126	962	765	31	51	1	

Tabelle 7: Cs-137 Messwerte 2010/2009 sowie IMIS-Vergleichsdaten nach Radien für die untersuchten Probenarten

4.5 Messwerte für Ra-226

Probenart		Boden (Bq/kg TM)	Gemüse (Bq/kg FM)	Getreide (Bq/kg FM)	Gras (Bq/kg FM)	Laub-Nadeln (Bq/kg FM)	Mais (Bq/kg FM)	Milch (Bq/ L)	Obst (Bq/kg FM)	Raps (Bq/kg FM)	Wasser (Bq/L)	Zuckerrüben (Bq/kg FM)	
1 km	2009	<i>Anzahl</i>	7	0	4	8	7	0	0	0	4	2	1
		<i>Mittelwert</i>	41		<0,01	<0,01	<0,01				<0,01	<0,01	1,73
		<i>Minimum</i>	31		<0,01	<0,01	<0,01				<0,01	<0,01	1,73
		<i>Maximum</i>	64		<0,01	<0,01	<0,01				<0,01	<0,01	1,73
	2010	<i>Anzahl</i>	8	0	4	10	7	2	0	0	4	2	2
		<i>Mittelwert</i>	75		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			1,79	<0,01	2,20
		<i>Minimum</i>	66		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01
		<i>Maximum</i>	105		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01			7,15	<0,01	4,40
5 km	2009	<i>Anzahl</i>	9	8	4	8	9	8	0	10	5	26	7
		<i>Mittelwert</i>	31	0,11	<0,01	<0,01	0,54	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	0,06
		<i>Minimum</i>	26	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		<i>Maximum</i>	40	0,85	<0,01	<0,01	3,24	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	0,40
	2010	<i>Anzahl</i>	8	8	5	8	9	6	0	8	4	24	6
		<i>Mittelwert</i>	68	0,43	<0,01	<0,01	2,30	<0,01		<0,01	5,76	<0,01	0,15
		<i>Minimum</i>	59	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		<i>Maximum</i>	76	1,90	<0,01	<0,01	9,36	<0,01		<0,01	8,06	<0,01	0,88
20 km	2009	<i>Anzahl</i>	8	16	4	8	0	4	16	2	4	1	4
		<i>Mittelwert</i>	33	0,01	<0,01	0,17		0,40	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,29
		<i>Minimum</i>	25	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		<i>Maximum</i>	41	<0,01	<0,01	1,39		1,58	<0,01	<0,01	0,25	<0,01	0,62
	2010	<i>Anzahl</i>	8	17	4	8	0	4	16	4	4	2	4
		<i>Mittelwert</i>	64	0,92	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	3,62	<0,01	1,03
		<i>Minimum</i>	53	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		<i>Maximum</i>	75	4,03	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	7,32	<0,01	4,11
IMIS	2008	<i>Anzahl</i>	47	3	2	6	3	1	0	0	0	1	0
		<i>Mittelwert</i>	21	1,06	0,2	2,9	1,7	1,7				<0,01	
		<i>Minimum</i>	6,8	0,5	0,2	0,3	0,9	1,7				<0,01	
		<i>Maximum</i>	52	1,5	0,2	10	2,6	1,7				<0,01	
		<i>Anz. <NWG</i>	0	175	29	29	6	18	72	38	0	4	0

Tabelle 8: Ra-226 Messwerte 2010/2009 sowie IMIS-Vergleichsdaten nach Radien für die untersuchten Probenarten. Für das Jahr 2010 waren im IMIS nur sehr wenig Daten verfügbar, so dass als Vergleichszeitraum, wie im letzten Bericht, das Jahr 2008 gewählt wurde.

4.6 Messwerte für Sr-90

		Probenart	Boden (Bq/kg TM)	Gemüse (Bq/kg FM)	Getreide (Bq/kg FM)	Gras (Bq/kg FM)	Laub-Nadeln (Bq/kg FM)	Mais (Bq/kg FM)	Milch (Bq/L)	Obst (Bq/kg FM)	Raps (Bq/kg FM)	Wasser (Bq/L)	Zuckerrüben (Bq/kg FM)
1 km	2009	Anzahl	7	0	4	8	7	0	0	0	4	2	1
		Mittelwert	1,15		0,12	0,59	1,71				0,33	<0,01	0,14
		Minimum	0,46		0,05	0,16	1,09				0,30	<0,01	0,14
		Maximum	2,51		0,27	1,12	2,64				0,36	<0,01	0,14
	2010	Anzahl	8	0	3	10	4	2	0	0	4	2	2
		Mittelwert	0,81		0,06	0,36	1,47	0,16			0,34	<0,01	0,09
		Minimum	0,20		0,04	0,15	1,20	0,12			0,27	<0,01	0,07
		Maximum	1,36		0,10	0,56	1,80	0,19			0,55	<0,01	0,10
5 km	2009	Anzahl	9	8	4	8	9	8	0	10	5	26	7
		Mittelwert	2,64	0,13	0,09	0,56	1,14	0,17		<0,04	0,28	<0,01	0,05
		Minimum	0,28	0,04	0,07	0,22	0,50	0,08		<0,04	0,21	<0,01	0,04
		Maximum	10,00	0,26	0,10	1,05	2,40	0,31		<0,04	0,42	<0,01	0,08
	2010	Anzahl	8	8	4	8	4	6	0	8	4	24	6
		Mittelwert	0,98	0,09	0,06	0,36	1,30	0,18		<0,04	0,39	<0,01	0,07
		Minimum	0,40	0,03	0,03	0,24	0,60	0,12		<0,04	0,27	<0,01	0,04
		Maximum	1,44	0,16	0,08	0,65	1,87	0,26		<0,04	0,46	<0,01	0,11
20 km	2009	Anzahl	8	16	4	8	0	4	0	2	4	1	4
		Mittelwert	2,36	0,15	0,16	0,72		0,12		<0,04	0,33	<0,01	0,07
		Minimum	0,34	<0,04	0,09	0,18		0,04		<0,04	0,26	<0,01	0,06
		Maximum	8,48	0,39	0,27	1,58		0,25		<0,04	0,42	<0,01	0,09
	2010	Anzahl	7	16	2	8	0	4	16	4	4	2	4
		Mittelwert	1,00	0,11	0,06	0,33		0,25	<0,01	<0,04	0,41	<0,01	0,09
		Minimum	0,74	0,10	0,04	0,16		0,11	<0,01	<0,04	0,36	<0,01	0,05
		Maximum	1,50	0,27	0,09	0,48		0,39	0,01	<0,04	0,55	<0,01	0,12
IMIS	2010	Anzahl	118	205	87	138	0	0	261	54	0	14	0
		Mittelwert	1,7	0,1	0,15	0,41			0,03	0,04		<0,01	
		Minimum	0,12	<0,01	0,01	0,01			<0,01	0,01		<0,01	
		Maximum	10	0,65	0,39	3,4			0,14	0,18		<0,01	
		Anz. <NWG	0	23	9	1	0	0	40	14	0	10	0

Tabelle 9: Sr-90 Messwerte 2010/2009 sowie IMIS-Vergleichsdaten nach Radien für die untersuchten Probenarten

5 Interpretation der Messwerte

5.1 Kalium 40 (K-40)

K-40 ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Isotop mit einer Halbwertszeit von 1,27 Milliarden Jahre. Das Element Kalium besteht zu 0,012 % aus dem radioaktiven Isotop K-40. Fast 10 % der Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide wird durch körpereigenes Kalium verursacht (für Personen in der Bundesrepublik Deutschland ca. 0,17 mSv pro Jahr).

In Obst sind zwischen 50 Bq/kg FM (Becquerel pro Kilogramm Frischmasse) und in Gemüse z.B. bis zu 380 Bq/kg FM in reifen Erbsen oder Bohnen anzutreffen. Auch tierische Lebensmittel weisen spezifische Aktivitäten für Kalium-40 in diesen Größenordnungen auf (von ca. 50 Bq/l in Kuhmilch bis hin zu ca. 100 Bq/kg FM in Fleisch, Leber und Nieren von Rindern). Im menschlichen Körper erfolgt während der Stoffwechselprozesse eine Umsetzung von Nähr- und Mineralstoffen in den einzelnen Körperteilen, bei denen ein bestimmter Bestand dieser Stoffe, z.B. auch von Kalium im Körper vorhanden sein muss, der weitgehend konstant gehalten wird. Der Kaliumbedarf wird vollständig durch die Zufuhr aus Nahrungsmitteln gedeckt. Die Kalium-40-Aktivität des menschlichen Körpers liegt in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und anderen Einflussgrößen etwa zwischen 40 und 60 Bq pro Kilogramm Körpergewicht.

[Quelle: <http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/nahrung.html>]

Die Messwerte 2009 und 2010 zeigen die gleichen Größenordnungen auf und sind auch vergleichbar mit Werten, die für die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2010 gemessen wurden.

Somit ist es einfach erklärbar, warum dieses Nuklid in allen untersuchten Medien nachgewiesen werden konnte. Die ermittelten spezifischen Aktivitäten dieses Nuklids lassen sich eindeutig auf den natürlichen Kaliumgehalt des jeweilig untersuchten Mediums und nicht auf Ableitungen aus der Schachanlage Asse II zurückführen.

5.2 Cäsium 137 (Cs-137)

Cs-137 hat eine Halbwertszeit von 30,2 Jahren und ist ein künstlich hergestelltes radioaktives Nuklid. Wie auch andere künstlich erzeugte Nuklide entsteht Cs-137 als Spalt- und Aktivierungsprodukte bei der Kernspaltung von Uran-235 und Plutonium-239, darüber hinaus auch bei der Aktivierung von Materialien durch Beschuss mit Neutronen oder geladenen Teilchen.

Der Großteil der heute gemessenen Aktivität von Cäsium-137 stammt zum einem aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen in den 60er Jahren (dabei gelangten die radioaktiven Stoffe in sehr hohe Luftschichten, wo sie global verteilt wurden) und zum anderen aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl am 26.4.1986. Die Kontamination durch Cäsium-137 erfolgte beim Reaktorunfall in Tschernobyl im Gegensatz zu den Kernwaffenversuchen der 60er Jahre nicht gleichmäßig. Verursacht durch örtlich begrenzte Niederschläge waren lokal erheblich höhere Ablagerungen festzustellen, wobei die Höhe der Deposition im Wesentlichen von Niederschlagsintensität und -zeitpunkt bestimmt war.

Cäsium verlagert sich nur langsam in tiefere Bodenschichten. Somit befindet sich sowohl das nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl als auch das infolge der Kernwaffentests abgelagerte Cäsium-137 noch weitgehend im Oberboden oder in bearbeiteten Böden in der entsprechenden Pflugtiefe, wobei dadurch eine Verteilung auf ein größeres Volumen die Folge ist.

Die ermittelten Cäsium-137 Aktivitätswerte sind vergleichbar mit den Werten, die in diesem Programm im letzten Jahr erhalten wurden. Auch die im Rahmen der IMIS-Überwachung auch in anderen Regionen in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2010 ermittelten Werte haben die gleiche Größenordnung.

Die festgestellten Aktivitäten sind somit auf die Kernwaffenversuche der 60er Jahre sowie auf das Reaktorunglück von Tschernobyl zurückzuführen.

Ein Aktivitätsbeitrag der Schachanlage Asse ist nicht erkennbar bzw. nachweisbar.

5.3 Radium 226 (Ra-226)

In einigen untersuchten Umweltmedien wurde das Radionuklid Radium-226 nachgewiesen. Radium 226 entsteht durch den natürlichen Zerfall von Uran (so genannte Uran-Radium Reihe). **Die gefundenen spezifischen Aktivitäten sind vergleichbar mit Werten, die im Jahr 2010 für das gesamte Bundesgebiet ermittelt wurden. Die ermittelten spezifischen Aktivitäten von Ra-226 sind auf den Zerfall des in der Erdkruste natürlich vorkommenden Uran-238 zurückzuführen und stehen somit in keinem Zusammenhang mit der Schachtanlage Asse.**

5.4 Strontium 90 (Sr-90)

Sr-90 hat eine Halbwertszeit von 28,5 Jahren und wurde insbesondere bei den oberirdischen Kernwaffenversuchen in den 60er Jahren und in geringerem Umfang auch durch den Reaktorunfall von Tschernobyl freigesetzt. Ferner entsteht Strontium 90 in Kernkraftwerken aufgrund der Spaltung des Kernbrennstoffes.

Strontium-90 wurde in vielen der untersuchten Medien mit geringen spezifischen Aktivitäten nachgewiesen. Ein Vergleich der erhaltenen Daten mit Daten aus dem Jahr 2010 für die gesamte Bundesrepublik Deutschland lassen den Schluss zu, dass die gefundenen Aktivitäten auf die Kernwaffenversuche der 60er Jahre und auf das Reaktorunglück in Tschernobyl zurückzuführen sind und nicht mit Ableitungen aus der Schachtanlage Asse II in Verbindung stehen.

6 Anhang:

6.1 Probenahme

Grundsätzlich wurden Grenzbereiche zu Straßen, Wegen und Gräben von der Probeentnahme ausgenommen. In Abbildung 7 sind diese Bereiche, die in der Regel eine stärker abweichende Bodenbeschaffenheit besitzen, eingezeichnet. Die Entnahmestellen wurden gleichmäßig über die Probeentnahmefläche verteilt. Ein Beispiel für eine ideale Gleichverteilung der Entnahmestellen ist ebenfalls in Abbildung 7 dargestellt. Der Probenehmer bewegt sich in diesem Fall auf einem Zick-Zack-Kurs auf der Fläche um die Verteilung der Entnahmestellen in möglichst guter Annäherung an den dargestellten Idealzustand realisieren.

Bei der Auswahl der Probenahmeflächen wurde darauf geachtet, dass von Hindernissen (Gebäuden, Bäumen u. a.) mindestens ein Abstand von der zweifachen Höhe der Hindernisse eingehalten wurde. Lage und Umgrenzung der Beprobungsfläche wurden genau und eindeutig beschrieben, damit auch in Folgejahren dieselben Flächen beprobt werden können. Da über einen längeren Zeitraum nicht auszuschließen ist, dass sich die Flächennutzung ändert und die ursprünglichen Beprobungsflächen nicht mehr für die Probenahme zur Verfügung stehen, sind in unmittelbarer Nähe Ersatzflächen vorgesehen. Die Probenahmeorte wurden von den Probenehmern in Flurkarten genau eingezeichnet.

Boden

Für die Probeentnahme wurde eine für die Bodenart typische, homogene, möglichst ebene und wenig geneigte Fläche von 0,1 bis 1,0 ha festgelegt. In Ausnahmefällen, in denen keine ausreichend große Flächen zur Verfügung stand, wurde die Flächengröße auch bis auf 100 m² reduziert.

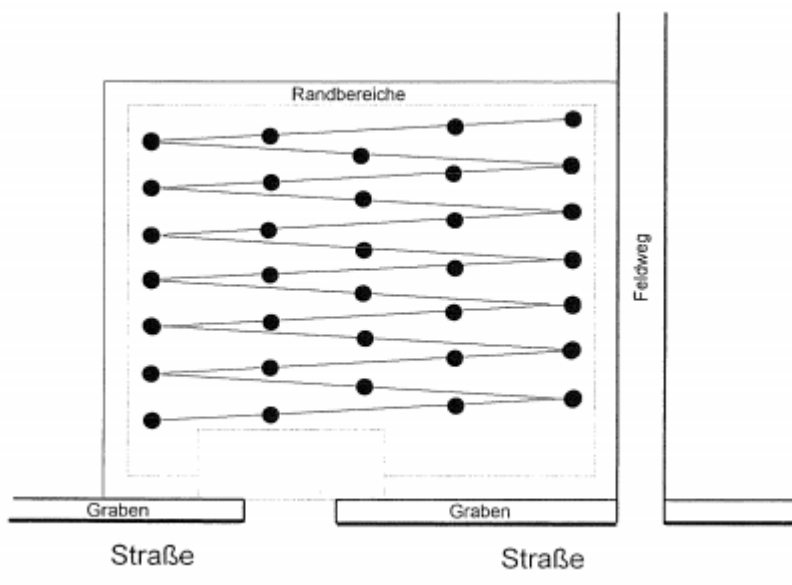


Abbildung 7: Verteilung der Einstiche bei Bodenprobenahmen

Grundsätzlich wurden so genannte Vorgewende und Grenzbereiche zu Straßen, Wegen und Gräben von der Probeentnahme ausgenommen. In Abbildung 7 sind die Bereiche, die in der Regel eine stärker abweichende Bodenbeschaffenheit besitzen, durch unterbrochene Linien gegen die Probeentnahmefläche abgegrenzt. Zur Probeentnahme wurde, wann immer möglich, ein Bohrstock von 5 cm Durchmesser verwendet. Die Einstichstellen wurden gleichmäßig über die Probeentnahmefläche verteilt. Ein Beispiel für eine ideale Gleichverteilung der Einstiche ist in Abbildung 7 dargestellt. Der Probenehmer bewegt sich in diesem Fall auf einem Zick-Zack-Kurs auf der Fläche, um die Verteilung der Einstiche in möglichst guter Annäherung an den dargestellten Idealzustand zu realisieren.

Mit einem 5 cm-Bohrstock wurden mindestens 20 Einstiche unter genauer Einhaltung der Entnahmetiefe (siehe 6.1.1) entnommen. Wurden Bohrstöcke mit geringerem Durchmesser, beispielsweise Pürkhauerbohrer, eingesetzt, wurden entsprechend mehr Einstiche durchgeführt, um vergleichbare Probenmengen zu erhalten. Bei sehr humusreichen Böden (Moor, Wald) wurden auch mit einem 5-cm-Bohrstock mindestens 30 Einstiche vorgenommen, um ausreichendes Probenmaterial zu bekommen. Auf skelettreichen Böden (Steine, Kies, Sand) ist ein Bohrstock oft nicht einsetzbar, so dass die Probeentnahme an mindestens 10 Stellen mit einem Spaten erfolgte. Dabei wurde darauf geachtet, dass jeweils gleiche Mengenteile über die gesamte Entnahmeschicht gezogen wurden, der Einstich also nicht konisch nach unten verengt wurde. Alle Einzelproben wurden in einem Plastikbeutel vereinigt und so ins Laboratorium der LUFA Nord-West nach Oldenburg gebracht.

6.1.1 Entnahmetiefen

6.1.1.1 Ackerböden

Die Probeentnahme erfolgte jeweils bis zur der Pflugtiefe (Obergrenze des A_p -Horizont), die je nach örtlichen Gegebenheiten zwischen 15 und 40 cm liegt. Unterboden war in den Proben nicht enthalten. Steine wurden zunächst nicht entfernt, sondern erst bei der Probenvorbereitung.

6.1.1.2 Weiden, Wiesen und andere unbearbeitete Böden

Die Einstichtiefe betrug in diesen Fällen 10 cm. Die Einstichstellen wurden, wenn möglich, zwischen Pflanzenbüscheln platziert. Größere unbewachsene Stellen, Maulwurfshügel und ähnliche gestörte Flächen wurden gemieden. Bei unbearbeiteten Böden wurde auf eine exakte Einhaltung der Entnahmetiefe besonders geachtet. Zur Gewinnung ausreichender Bodenmengen wurde die Anzahl der Einstiche je nach Humusgehalt auf 30 bis 50 erhöht.

6.1.1.3 Waldböden

Von der Bodenoberfläche beginnend unterscheidet man bei Waldböden folgende Horizonte

Horizontbezeichnung	Horizontbeschreibung
A ₀₀ oder O ₁	loser Blätter- oder Nadelteppich
A ₀ oder O _f plus O _h	Humusauflage
A ₁ oder A _h	humoser Mineralboden
B	verdichteter mineralischer Unterboden

Für die Zwecke der Radioaktivitätsüberwachung ist es sinnvoll, diejenigen Horizonte zu beproben, die die höchsten Nährstoffmengen enthalten und in denen daher Pilze ihr Mycel und Pflanzen ihre Wurzeln ausbilden. Dieses sind vor allem die Humusauflage (Bezeichnung: O_f- und O_h-Horizonte oder A₀-Horizont) und der meist humose Mineralboden unter der Humusauflage (Bezeichnung: A_h- bzw. A₁-Horizont), der eine Mächtigkeit zwischen etwa 5 und 40 cm aufweisen kann. Die Bodenstreuerschicht, d. h. der lose Blätter- oder Nadelteppich (O₁ bzw. A₀₀-Horizont), und der tiefere verdichtete mineralische Unterboden (B-Horizont) sind für das Pilz- und Pflanzenwachstum von geringerer Bedeutung.

Zur Gewinnung von Proben aus der Humusschicht wurde zunächst die lose Blatt- oder Nadelaufgabe vorsichtig abgetragen. Anschließend wurden die Proben mit einem Bohrstock über die Gesamttiefe der Humusschicht (O_f- plus O_h-Horizont), unabhängig von der Mächtigkeit dieser Schicht, entnommen. Mit einem Bohrstock von 5 cm Durchmesser wurden 30 bis 50 Einstiche gleichmäßig über die Probeentnahmefläche verteilt durchgeführt.

Anschließend wurde an mindestens 20 Probeentnahmestellen die Humusaufgabe vorsichtig abgetragen und danach mit einem Bohrstock, bei skelettreichen Boden auch mit einem Spaten, je nach Mächtigkeit des A_h (A₁)-Horizontes bei einer Einstichtiefe von 5 bis maximal 40 cm das Probenmaterial aus der unmittelbar unter der Humusaufgabe liegenden mineralischen Schicht gewonnen.

Quelle: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlsch_messungen_f04.pdf
Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Bodenproben, F- γ -SPEKT-BODEN-01)

6.1.2 Gras

Die Probeentnahmefläche war ca. 200 m² groß und frei von Verunreinigungen und wies einen geringen Unkrautanteil auf. Um eine gute Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu garantieren, wird Grasschnitt aus dem Monat Mai als Probenmaterial verwendet. Zu Vergleichszwecken wurden zusätzlich noch Proben im September / Oktober genommen.

Zweckmäßigerweise wurde an mehreren gleichmäßig über die Gesamtfläche verteilten Stellen das Gras von Flächen mit den Abmessungen von 70 x 70 cm (ca. 0,5 m²) nach Auflegen eines Rahmens entsprechender Kantenlänge aus V2A-Stahl- oder Kunststoffprofil etwa 2 cm über dem Boden mit einer Grasschere abgeschnitten, zu einer Mischprobe vereinigt und in einem Plastiksack zur Untersuchung nach Oldenburg zum Laboratorium der LUFA Nord-West gebracht.

Quelle (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlsch_messungen_f11.pdf)
Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Pflanzenproben (Indikatoren), *F-γ-SPEKT-PFLAN-01* in „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität“

6.1.3 Mais, Getreide, Raps, Rüben

6.1.3.1 Allgemeines zur Probennahme:

Bei der Auswahl der Probenahmeflächen wurde darauf geachtet, dass von Hindernissen (Gebäuden, Bäumen u. a.) mindestens ein Abstand von der zweifachen Höhe der Hindernisse eingehalten wurde. Lage und Umgrenzung der Beprobungsfläche wurden genau und eindeutig beschrieben, damit auch in Folgejahren dieselben Flächen beprobt werden können. Da über einen längeren Zeitraum nicht auszuschließen ist, dass sich die Flächennutzung ändert und die ursprünglichen Beprobungsflächen nicht mehr für die Probenahme zur Verfügung stehen, sind in unmittelbarer Nähe Ersatzflächen vorgesehen. Die Probenahmeorte wurden von den Probenehmern in Flurkarten genau eingezeichnet.

Für die Probeentnahme wurde eine Fläche (je nach örtlicher Begebenheit) von 0,1 bis 1,0 ha festgelegt. In Ausnahmefällen, in denen keine ausreichend große Fläche zur Verfügung stand, kann die Flächengröße auch bis auf 100 m² reduziert sein.

Die Probeentnahme wurde zeitlich so eingerichtet werden, dass das Pflanzenmaterial sofort weiterverarbeitet wurde, um so Fäulnis oder Schimmelbildung durch Lagerung zu vermeiden.

6.1.3.2 Mais

Auf der zu beprobenden Anbaufläche wurde zur Zeit der Teigreife an 15 gleichmäßig über die Fläche verteilten Stellen jeweils 1 Pflanze etwa 5 cm über dem Boden abgeschnitten. Die Proben wurden vereinigt, grob zerkleinert und in Plastiksäcke verpackt transportiert. Bei der Entnahme und der Zerkleinerung wurde darauf geachtet, dass Verschmutzungen mit dem Boden unterbleiben.

6.1.3.3 Getreide und Raps

Bei oder nach der Getreideernte wurden am Mähdrescher, vom Transportfahrzeug oder vom Lager des Landwirtes 10 Teilproben des Korns bzw. des Saatgutes entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Bei den Proben wurde darauf geachtet, dass diese, wenn überhaupt nur einen geringen Besatz von Unkrautsamen, Fremdgetreide bzw. Strohreste aufwiesen.

6.1.3.4 Rüben

Für die Probeentnahme wurden landwirtschaftliche Betriebe ausgewählt, die Rüben jährlich auf gleichartigen, möglichst nahe beieinander liegenden Flächen anbauen.

Die Proben wurden im Spätherbst aus dem Bestand entnommen oder vom Lager des Landwirtes entnommen. Dazu wurden an 10 Stellen Teilproben gezogen und zu einer Mischprobe vereinigt. Es wurde darauf geachtet, dass die Mischprobe in etwa die Größenverteilung der Rüben des Gesamtlagers aufwies. Die Teilproben wurden zu einer Mischprobe von mindestens 25 kg vereinigt.

Quelle: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlsch_messungen_f06.pdf

Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Proben von Futtermitteln und Futtermittelrohstoffen *F- γ -SPEKT-FUMI-01* in „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität“

6.1.4 Milch

Die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sieht während der Grünfütterzeit die Entnahme von jeweils 2 Stichproben bei einer Milcherzeugerbetrieb, vorzugsweise im Bereich der „ungünstigsten Einwirkungsstelle“ und einer nahe gelegenen Molkerei oder Milchsammelstelle vor. Für diese zusätzliche Überwachungsmaßnahme wurden 16 Proben / Jahr bei den Erzeugern direkt entnommen.

Die Rohmilch stammte aus den Sammel tanks der Betriebe und die Milch wurde durch Umpumpen oder Rühren durchmischt. Wurden die Proben aus einem Hahn oder Ablaufstutzen entnommen, so musste vor der Entnahme eine dem nicht durchmischten Totvolumen entsprechende Menge ablaufen. Existierten in einem Betrieb mehrere Großtanks oder wurden die Tanks täglich mehrfach gefüllt, so wurde möglichst aus allen Tankfüllungen aus aliquoten Volumina eine Tagesmischprobe hergestellt. Es wurde je Probe eine Menge von

1 Liter entnommen. Die Milchproben wurden stets vor dem Transport von der Molkerei oder dem Erzeuger zur Laboratorium durch Zusatz von 3,5 ml 5%iger Natriumazidlösung pro Liter konserviert, um eine Säuerung zu verhindern.

Quelle: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlsch_messungen_f08.pdf
Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Milchproben *F- γ -SPEKT-MILCH-01* in „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität“

6.1.5 Obst und Gemüse

Vorrangig kommen landwirtschaftliche Erzeugnisse in Betracht, deren oberirdische Teile zum Verzehr bestimmt sind. Die höchsten Radionuklidgehalte haben bei den Gemüsesorten im Allgemeinen die auf dem Freiland wachsenden Blattgemüse und von diesen wiederum diejenigen mit einer langen Wachstumsperiode und einer großen freien Blattoberfläche (z. B. Grünkohl). Bei Obstsorten waren diejenigen von Interesse, die große Oberflächen im Verhältnis zum Gesamtgewicht aufweisen. Hierzu gehört vor allem Beerenobst.

Die zu überwachenden Lebensmittel pflanzlicher Herkunft wurden so je nach Verfügbarkeit ausgewählt.

Es wurde nur botanisch einheitliches Material ausgewählt und es fand keine Vermischung von Obstsorten untereinander statt (z.B. Birnen und Äpfel). Darüber hinaus wurde auch auf Sortenreinheit geachtet (z. B.: Äpfel: Boskop wurde nicht mit Elstar gemischt). Zur Vermeidung von Kreuzkontaminationen und zur Vermeidung von Feuchtigkeitsverlusten wurde das Probenmaterial bereits bei der Probeentnahme in Polyethylenbeutel verpackt und gekühlt zur Untersuchung in das Laboratorium des LUFA Nord-West nach Oldenburg gebracht.

Quelle: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlsch_messungen_e04.pdf
Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Lebensmitteln *E- γ -SPEKT-LEBM-01* in „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität“

6.1.6 Wasser

Es wurden ausschließlich Wasserproben aus natürlichen Quellen, von öffentlichen Brunnen sowie von privaten Hausbrunnen entnommen. Eine dem Totvolumen entsprechende Menge wurde zuvor als Vorlauf ablaufen gelassen, bevor insgesamt 3 Liter Probe direkt in mehreren Braunglasflaschen entnommen wurden. Die Flaschen wurden bis zum Rand gefüllt, sofort verschlossen und gekühlt zur Untersuchung nach Oldenburg in das Laboratorium der LUFA Nord-West verbracht.

6.1.7 Laub

Die Blätter wurden vor der herbstlichen Verfärbung von tief hängenden Zweigen abgestreift. Blätter des Vorjahres die unter den Bäumen lagen wurden bei der Probenahme nicht berücksichtigt.

6.1.8 Nadeln

Zur Gewinnung von Nadelproben wurden im Oktober vorzugsweise von Fichten die Triebe des gleichen Jahres (Triebspitzen ab der letzten Verzweigung) von tief hängenden Zweigen mit einer Gartenschere abgeschnitten. Es wurden keine Nadeln älterer Jahrgänge etwa aus dem Inneren des Baumes oder gar vom Boden unter den Bäumen entnommen.

Quelle: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strlsch_messungen_f11.pdf
Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Pflanzenproben (Indikatoren), *F- γ -SPEKT-PFLAN-01* in „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität“

6.2 Probenvorbereitung

6.2.1 Gammaskpektrometrie

6.2.1.1 Boden

Die Bodenproben wurden grob zerkleinert und gemischt. Die Mischproben wurden im Umlufttrockenschrank bei 50°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dabei der Trockenmasse- bzw. Wassergehalt bestimmt. Anschließend wurden sie von Hand zerkleinert und durch ein Sieb mit 2 mm Maschenweite gesiebt. Danach wurden die Grobteile verworfen. Es wurde nur der trockene Feinboden analysiert, nachdem dieser nochmals durch Mischen homogenisiert wurde. Das Probenmaterial von Hochmoorböden und die Humusaufgabe von

Waldboden wurden nach dem Trocknen mit Hilfe einer Schlagkreuzmühle mit 1 mm-Sieb gemahlen und durch nachträgliches Mischen homogenisiert.

Die so erhaltene Probe wurde gammaspektrometrisch vermessen (für Details zur Gammaspektrometrie siehe Kapitel 6.3)

6.2.1.2 Gras, Blätter, Nadeln

Die Proben wurden bei 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und in einer Mühle mit 1 mm Sieb zerkleinert und durch Mischen nochmals homogenisiert. Nadelproben wurden vor dem Zerkleinern von den Zweigen befreit.

Die so erhaltene Probe wurde gammaspektrometrisch vermessen (für Details zur Gammaspektrometrie siehe Kapitel 6.3)

6.2.1.3 Mais

Die Gesamtmenge der entnommenen Probe wurde zerkleinert und homogenisiert. Eine Teilprobe von 10 kg wurde bei 105°C zur Gewichtskonstanz getrocknet und in einer Mühle mit 1 mm Sieb zerkleinert und durch Mischen nochmals homogenisiert.

Die so erhaltene Probe wurde gammaspektrometrisch vermessen (für Details zur Gammaspektrometrie siehe Kapitel 6.3)

6.2.1.4 Getreide, Raps

Die Probe wurde zunächst, wenn nötig gedroschen und nur das Korn bzw. der Rapssamen, ohne weitere Probenvorbereitung für die weitere Messung im Gammaspektrometer verwendet (für Details zur Gammaspektrometrie siehe Kapitel 6.3).

6.2.1.5 Rüben

Wurzelansätze mit Erdresten wurden zunächst mit einem Messer abgeschabt und die Rüben zweimal mit Wasser gewaschen. Anschließend werden die Rüben geschnitzelt, bei 105°C zur Gewichtskonstanz getrocknet und in einer Mühle mit 1 mm Sieb zerkleinert und durch Mischen nochmals homogenisiert. Die so erhaltene Probe wurde gammaspektrometrisch vermessen (für Details zur Gammaspektrometrie siehe Kapitel 6.3).

6.2.1.6 Milch

Die Milch wurde ohne weitere Probenvorbereitung direkt gammaspektrometrisch vermessen (siehe Kapitel 6.3).

6.2.1.7 Gemüse und Obst

Frischgemüse: Nicht zum Verzehr bestimmte Teile, wie verdorbene Blätter, Strunke, Hüll- und Deckblätter, Schalen, starke Verunreinigungen usw. wurden entfernt.

Blattgemüse: Nach der Probeneinwaage wurde das Material normiert gewaschen (siehe Punkt 6.2.1.7.1).

Sprossgemüse: Wurzel- und Sprossansätze wurden entfernt (z. B. Zwiebel) und geschält (z. B. Zwiebel, Spargel).

Fruchtgemüse: Stiele, Kelchblätter und Blütenansätze wurden entfernt, bei grünen Bohnen die Enden abgeschnitten und gegebenenfalls die Fäden entfernt.

Wurzelgemüse: Kraut- und Krautansatz, sowie Wurzeln wurden entfernt; geschabt, wenn die Schale nicht verzehrt wird. Nach der Probeneinwaage wurde normiert gewaschen (siehe unten).

Pilze: Wurzelansatz (Mycel), schadhafte Stellen wurden entfernt und nach der Probeneinwaage normiert gewaschen (siehe Punkt 6.2.1.7.1).

Kartoffeln: Keime und eventuell anhaftende Erdkrusten wurden entfernt, dann normiert gewaschen (siehe Punkt 6.2.1.7.1), geschält und nach der Probeneinwaage nochmals kurz nachgespült. Bei Frühkartoffeln wurden auf das Schälen verzichtet, da die Schale mitverzehrt wird.

Frischobst:

Beerenobst: Stängel, Blütenreste und verdorbene Beeren wurden entfernt und verschmutzte oder nahe dem Erdboden gewachsene Beeren (z.B. Erdbeeren) wurden nach der Probeneinwaage normiert gewaschen (siehe Punkt 6.2.1.7.1)

Kernobst: Blütenansätze, Stiele und Kerne (soweit nicht mitverzehrt) wurden entfernt.

Steinobst: Stiele und Steine wurden entfernt. Faulige Stellen wurden bei Obst ausgeschnitten.

6.2.1.7.1 Normiertes Waschen der Proben

Das küchenfertig vorbereitete Produkt wurde ca. 3 Minuten in stehendem Wasser gewaschen, dabei Betrug das Verhältnis Wasser zu Produkt 10:1. Anschließend ließ man auf einem Kunststoffsieb ca. 2 Minuten abtropfen. Bei stark verschmutzten Proben wurde der Waschvorgang entsprechend wiederholt. Bei Blatt- und Kohlgemüse (Grünkohl, Petersilie, Salat etc.) wurde das gewaschene Produkt in einem trockenen Tuch leicht ausgeschlagen. Die zur Analyse verzehrfähigen Teile wurden grundsätzlich vor dem Waschen eingewogen. Bei Kartoffeln wurde die Einwaage nach dem Nachspülen vorgenommen.

Nach dem Einwiegen wird die Probe zerkleinert und gammaspektrometrisch vermessen (für Details zur Gammaspektrometrie siehe Kapitel 6.3)

6.2.1.8 Wasser

Die Wasserproben wurden ohne weitere Probenvorbereitung direkt gammaspektrometrisch vermessen. (für Details zur Gammaskpektrometrie siehe Kapitel 6.3)

6.2.2 Strontium-90 Analysen

6.2.2.1 Boden, Gras, Blätter, Mais, Getreide, Raps, Rüben

Das getrocknete und zerkleinerte Probenmaterial wurde bei einer Ofentemperatur von ca. 700°C verascht. Die veraschte Probe wurde nochmals durch Mischen homogenisiert und die Ascheausbeute ermittelt, damit die Messergebnisse auf die Trockenmasse (TM) umgerechnet werden können. Die so erhaltene Probe wurde anschließend einer radiochemischen Trennung unterzogen, um das Sr-90 von den anderen Isotopen abzutrennen.

6.2.2.2 Obst und Gemüse

Die Probenvorbereitung erfolgte zunächst wie unter 6.2.1.7 beschrieben. Anschließend wird das Probenmaterial bei einer Ofentemperatur von 700°C verascht. Die veraschten Proben wurde nochmals durch Mischen homogenisiert. Die so erhaltene Probe wurde anschließend einer Radiochemischen Trennung unterzogen, um das Sr-90 von den anderen Isotopen abzutrennen.

6.2.2.3 Milch

Die Proben wurden direkt einer Radiochemischen Trennung unterzogen, um das Sr-90 von den anderen Isotopen abzutrennen.

6.2.2.4 Wasser

Die Wasserproben wurden direkt der Radiochemischen Trennung unterzogen, um das Sr-90 von den anderen Isotopen abzutrennen.

6.3 Gammaskopmetrie

Verschiedene Nuklide können für den menschlichen Organismus unterschiedlich gefährlich sein. Daher werden sie mittels Gammaskopmetrie einzeln bestimmt.

Bei der Gammaskopmetrie wird das Spektrum der Gammastrahlung einer radioaktiven Strahlungsquelle ermittelt. Die von der Probe emittierten Gammateilchen haben nicht beliebige, sondern bestimmte (diskrete), für das jeweilige Nuklid charakteristische Energien. Wie auch in der optischen Spektroskopie, wo die Spektrallinien für die in der Probe enthaltenen Stoffe charakteristisch sind, können in der Gammaskopmetrie den Energielinien bestimmte Nuklide zugeordnet werden. Deshalb ist die Gammaskopmetrie eine wichtige Methode um radioaktive Substanzen, wie beispielsweise radioaktive Abfälle, zu untersuchen und um mögliche Gefährdungen zu erkennen und diese zu beseitigen.

6.3.1 Aufbau eines Gammaskopmeters

Ein Gammaskopmeter besteht im Wesentlichen aus vier Komponenten:

- Detektor (5) - Abschirmung (4) - Elektronik (ABC) - Auswerteeinheit (D)

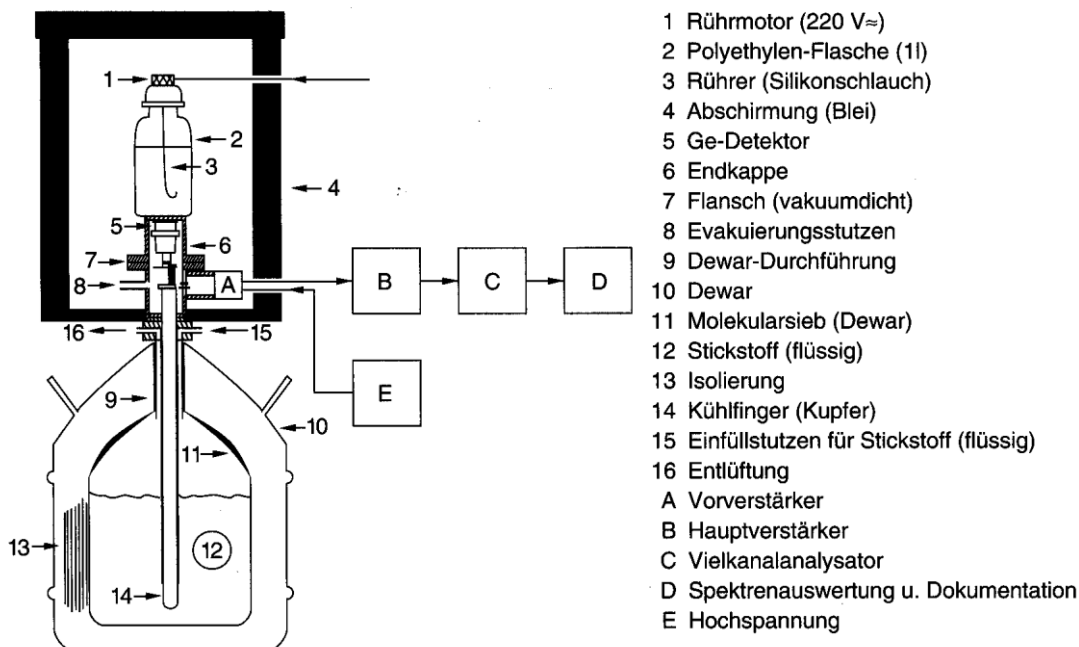


Abbildung 8: schematischer Aufbau eines Gammaskopmeters

6.3.1.1 Detektor

Das Herzstück der Apparatur, um Gammastrahlen zu messen ist ein geeigneter Strahlungsdetektor. Für die meisten Gammastrahler (Energien zwischen ca.50 keV und einigen MeV) eignen sich Halbleiterdetektoren aus hochreinem Germanium (HPGe High Purity Germanium, Kurzbezeichnung). Für die Messung der Proben im Labor der LUFA Nord-West wurde ein dementsprechender Kristall mit einem Ansprechvermögen von 50% verwendet (Hersteller: Canberra). Mit diesem Kristall sind in relativ kurzer Zeit geringe Nachweisgrenzen für die einzelnen Nuklide zu erreichen.

Der verwendete HPGe-Detektor wurde im Betrieb zur Vermeidung der von thermischen Vorgängen erzeugten Rauschsignale mit flüssigem Argon gekühlt. Bei Raumtemperatur führen thermische Gitterschwingungen zu Ionisationseffekten im Kristall und erzeugen ein Rauschen. Die Kühlung geschieht, wie in Abbildung 8 zu sehen, indem der Detektor senkrecht auf einen in das Dewar Gefäß eintauchenden Kühlfinger montiert ist. Zudem ist der Germaniumdetektor mit der Elektronik verbunden.

6.3.1.2 Abschirmung

Um den Einfluss der Umgebungsstrahlung bei der Messung zu vermindern, ist der Detektor mit einer Abschirmung versehen. Hierzu ist der Detektor in einer Bleiabschirmung (10cm) untergebracht. Die Bleiabschirmung ist zusätzlich mit einer 3 mm Kupferwandung ausgekleidet, um die im Blei erzeugte Röntgenfluoreszenzstrahlung zu absorbieren.

6.3.1.3 Elektronik

Die Elektronik besteht aus einer Hochspannungsversorgung, einem gekühlten, mit dem Detektor verbundenen Vorverstärker, einem Impulshöhenverstärker und einem Impulshöhenanalysator. Bis auf den Vorverstärker sind alle anderen Komponenten in einem Multigerät (DSA 1000, Fa. Canberra) zusammengefasst.

6.3.1.4 Auswerteeinheit

Das Gammaspektrometer (Elektronik, Detektor) wird durch einen handelsüblichen PC betrieben. Als Software kam GENIE 2K (Fa. Canberra) zum Einsatz. Mit Hilfe der Software können die erhaltenen Gammaskpektren ausgewertet werden. Werden Nuklide nachgewiesen, so erhält man einen Messwert in Bq/kg, sowie eine Messungenauigkeit in %. Wird das gesuchte Nuklid nicht nachgewiesen, so erhält man eine Nachweisgrenze anstelle des entsprechenden Messwertes.

6.3.2 Prinzip der Gammamessung

Fast alle Radionuklide emittieren Gammaquanten einer charakteristischen Energie (siehe Tabelle 10). Bestimmt man diese Energien, so lassen sich die Radionuklide identifizieren. Dies ist ein Strahlungs- oder Teilchendetektor, der sich spezielle elektrische Eigenschaften von Halbleitern zu Nutze macht, um Ionisierende Strahlung nachzuweisen. Bei der Strukturierung von Halbleiterdetektoren macht man sich die Kombination unterschiedlich leitfähiger Gebiete (Dotierungen) zunutze, über die verschiedene elektrische Felder im Halbleiter angelegt werden, um die generierten Ladungsträger innerhalb des Halbleiters zu transportieren und gegebenenfalls zu verstärken.

An den Detektor wird eine Hochspannung angelegt. Solange kein ionisierendes Teilchen (zum Beispiel ein Gammateilchen) in den Kristall eindringt, fließt im Detektor kein Strom, dringt ein Gammaquant in den Kristall ein, erzeugt es entlang seiner Bahn infolge verschiedener Effekte (Foto-, Compton- oder Paarbildungseffekt) Elektron-Defektelektron-Paare (Elektronen und Löcher) die durch das angelegte Spannungspotential an den entsprechenden Polen gesammelt werden. An diesen entsteht eine kurzzeitige Ladungserhöhung, also eine Spannungsdifferenz, wodurch ein Stromstoß im Detektorkreis hervorgerufen (Entladung) wird. Der Ladungsimpuls wird im ladungsempfindlichen Vorverstärker in einen Spannungsimpuls umgewandelt (Ausgangsspannung ist proportional der Eingangsladung).

In der nachgeschalteten Elektronik werden die elektrischen Signale verstärkt und ausgewertet. Die Spannungsimpulse werden nach Ihrer Amplitude sortiert und gezählt.

Auf der X Achse erhält man die Gammaenergien in Form schmaler Kanäle angegeben, auf der Y-Achse die Anzahl der Impulse, die von Gammaquanten bestimmter Energie erzeugt worden sind.

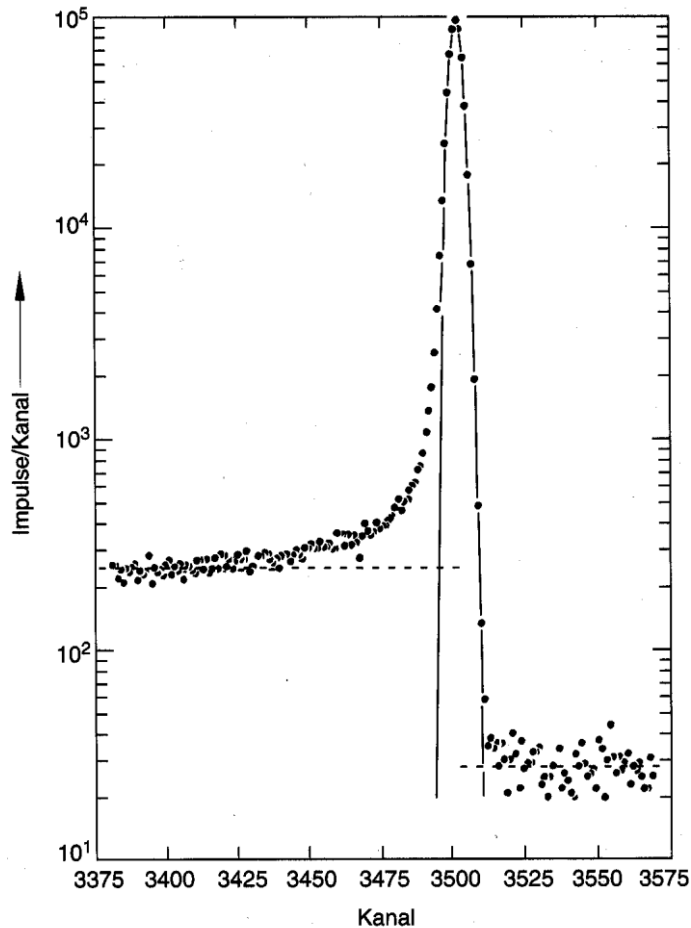


Abbildung 9: Impulshöhenspektrum im Bereich der 1333 keV Linie des Co-60

(Quelle: Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität, Kapitel IV.1)

Gemessen werden sowohl die Energie jedes registrierten Photons als auch die Intensität jeder Spektrallinie. Um die gemessenen Nuklide identifizieren und ihre Aktivität in Bq bestimmen zu können, wurde das Spektrometer hinsichtlich beider Messgrößen kalibriert (Energiekalibrierung und Intensitätskalibrierung).

6.3.2.1 Energiekalibrierung des Gammaskpektrometers

Die Energie-Kalibrierung erfolgt mit Hilfe der Gammaenergien bekannter Nuklide eines Präparates. Die Impulshöhe (Kanalnummer) entspricht meist so genau linear der Photonenenergie, so dass theoretisch zwei Gammalinien als Kalibrierungspunkte ausreichen, um die Zuordnung Kanalnummer-Energie für das gesamte Spektrum zu erhalten.

Im Labor der LUFA Nord-West wird eine 10 Punktkalibrierung mit einer Referenzlösung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Braunschweig vorgenommen (siehe Tabelle 10).

Nuklid	Photonenenergie [MeV]	Aktivität [Bq]
Barium 133	0,081	1700
Cobalt 57	0,122	4010
Cer 139	0,166	3620
Barium 133	0,356	2880
Strontium 85	0,514	23800
Cäsium 137	0,662	7990
Mangan 54	0,835	9200
Yttrium 88	0,898	21700
Zink 65	1,116	11700
Yttrium 88	1,836	23000

Tabelle 10: Photoenergien und Aktivitäten verschiedener Nuklide eines Kalibrierstandards

6.3.2.2 Intensitätskalibrierung des Gammaskalibriers

Das Intensitätsmaß ist die Zählrate (Zahl der Impulse pro Zeiteinheit) bei einer Quanten-Energie (graphisch: die Fläche unter dem jeweiligen Photopeak). Die für die Messung interessante Größe ist die Aktivität (gemessen in Bq) des betreffenden Nuklids in der gemessenen Probe. Um die Aktivität absolut zu bestimmen, wurde die Zählrohrbeute oder die Ansprechwahrscheinlichkeit des Detektors als Funktion der Gamma-Energie kalibriert. Hierfür sind Messungen mit Kalibrierungs-Standards bekannter Zusammensetzung und Aktivität erforderlich. Die LUFA Nord-West benutzt ein solchen kalibrierten Standard von der PTB (siehe Tabelle 10). Solche Standards emittieren Gammaquanten verschiedener Energien. Die damit gemessenen Zählraten ergeben Messpunkte, aus denen für den Bereich zwischen der niedrigsten und der höchsten bei der Kalibrierungsmessung verwendeten Gammaenergie durch rechnerische Interpolation eine Kalibrierungskurve gewonnen wird. Die Ansprechwahrscheinlichkeit außerhalb dieses Bereiches ist damit nicht kalibrierbar, weil die dann erforderliche Extrapolation keine ausreichende Genauigkeit liefern würde. Die Intensitäts-Kalibrierungskurve ist nicht linear.

6.4 Sr-90 Messung

Einige der in der Umwelt vorliegenden Radionuklide können nicht mit Hilfe der Gamma-Spektrometrie erfasst werden. Hierzu zählen unter anderem die rein beta-strahlenden Radionuklide wie das Tritium (H-3) bzw. das Strontium 90 (Sr-90). Für die Ermittlung der Aktivität dieser Radionuklide ist die Messung der Beta-Strahlung erforderlich.

6.4.1 Verwendete Messsysteme

Zur Aktivitätsbestimmung von beta-strahlenden Radionukliden wurden sowohl zählende als auch spektrometrische Messmethoden verwendet. Die zählende Messmethode ist eine relativ einfache Messanordnung, bei der die Anzahl der Beta-Teilchen, die in den Detektor gelangen, bzw. die Zählrate mit relativ einfachen Detektoren bestimmt werden. Dazu muss sichergestellt sein, dass nur das zu messende Radionuklid im Messpräparat vorhanden ist. Dafür wurde eine radiochemische Trennung mit hohem elementspezifischen Trenngrad durchgeführt. Als Detektoren kamen Zählrohre (Proportionalzählkammern) zum Einsatz.

Beta-Strahlungsspektrometer, die es gestatten, die Zählrate als Funktion der Teilchenenergie zu registrieren, erlauben auch die Bestimmung der Aktivität eines speziellen Radionuklids bei Anwesenheit von störenden Radionukliden oder unter günstigen Umständen von wenigen beta-strahlenden Radionukliden. Hier wurden als Detektoren Proportionalzählrohre und Flüssigkeitsszintillatoren eingesetzt.

Für die Bestimmung der Aktivität von Sr-90 verfügt die LUFA Nord-West über einen PC gesteuerten 10 Kanal Low-Level Messplatz zur gleichzeitigen Alpha- und Beta-Messung. (Berthold Technologies, Modell LB 770). Das Gerät erlaubt die Messung von bis zu 10 Proben gleichzeitig. Dieses wird durch 10 separate Durchflusszählrohre erreicht, mit denen gleichzeitig Alpha- und Betastrahlung in niedrigster Konzentration gemessen werden können.

Für die Bestimmung der Aktivität von Tritium (H-3) in Wasser wurde ein Flüssigkeitsszintillationsspektrometer verwendet. Hier gibt es einen sehr engen Kontakt zwischen dem zu messenden Radionuklid und dem Detektor, sodass auch bei niederenergetischer Beta-Strahlung, wie etwa bei Tritium, hohe Nachweiswahrscheinlichkeiten erzielt werden können.

6.4.1.1 Messprinzip

Anders als bei alpha- oder gamma-strahlenden Radionukliden, deren Strahlung diskrete Energien aufweist und in der Regel aufgrund ihrer charakteristischen Linien im Spektrum identifiziert und quantifiziert werden können, ist es schwierig bei einem Gemisch von beta-strahlenden Radionukliden die Beiträge der Radionuklide zum Summenspektrum, das eine Überlagerung der einzelnen kontinuierlichen Spektren darstellt, zu ermitteln.

Möglich ist eine Bestimmung beta-strahlender Radionuklide aus einem Summenspektrum nur dann, wenn wenige und bekannte Radionuklide im Messpräparat vorliegen und die Maximalenergien der beta-strahlenden Radionuklide sehr unterschiedlich sind. Auch die Aktivitäten der einzelnen Radionuklide dürfen nicht sehr verschieden voneinander sein und müssen zumindest so hoch sein, dass eine ausreichende Anzahl von Impulsen pro Kanal vorhanden ist. In diesen Fällen ist es möglich, durch die Wahl geeigneter Energiebereiche (sog. Fenster) im Spektrum sowie durch Abziehen von Spektren der Einzelradionuklide im Summenspektrum die Aktivitäten der einzelnen Radionuklide zu bestimmen.

Schwierigkeiten ergeben sich auch bei Umweltproben mit geringen Aktivitäten, bei denen nur geringe Impulsanzahlen in den einzelnen Energiebereichen auftreten. Darüber hinaus kann die Bestimmung des Beta-Strahlers Sr-90 durch alpha- und gamma-strahlende Radionuklide mit höherer Aktivität, welche in der Probe als Begleitradiation enthalten sein können, gestört werden. Aus diesen Gründen ist es bei Proben aus der Umwelt in den meisten Fällen erforderlich, die einzelnen Elemente und damit Radionuklide radiochemisch aus der Probenmatrix und voneinander abzutrennen und die so erhaltenen Messpräparate nach Radionukliden getrennt zu messen. Kann durch eine solche radiochemische Trennung ein einzelnes Radionuklid separiert werden, ist zur nuklidspezifischen Bestimmung der Aktivität keine spektrometrische, sondern nur eine zählende Messung erforderlich.

Andere Nuklide wie z.B. auch das überall anzutreffende Kalium-40 senden ebenso Beta-Strahlung aus.

Die radiochemische Abtrennung von Sr-90 ist sehr komplex. Für die vielen verschiedenen Matrices sind jeweils andere Maßnahmen erforderlich. Im Folgenden soll nur eine beispielhafte, kurze Erläuterung gegeben werden, wie Messpräparate für die Sr-90-Bestimmung hergestellt werden können:

Nach der Probenvorbereitung (vgl. Kapitel 6.2.2) wird aus der erhaltenen Asche das Sr-90 quantitativ extrahiert. Dies erfolgt durch Zugabe von konzentrierter Salpetersäure. In der nun salpetersauren Probenlösung befinden sich neben dem Strontium jedoch auch Störsubstanzen wie Barium, Calcium etc.. Diese müssen entsprechend abgetrennt werden. Hierzu werden

Kronenether verwendet, die nur das Strontium aus der salpetersauren Lösung herausfangen. Das Prinzip dieser Kronenether beruht – vereinfacht ausgedrückt- auf dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Nur das Strontium Atom passt exakt in diese Ringstruktur des Kronenethers hinein. Andere Atome sind entweder zu groß oder zu klein. Andere Ansätze sind so konzipiert, dass mit mehreren Fällungsreaktionen Störnuklide abgetrennt werden, bis schließlich nur noch das Strontium zurückbleibt. Am Ende einer jeden Trennung wird das gelöste Strontium als Niederschlag aus der Lösung entfernt. Das abgetrennte Strontium kann anschließend gemessen werden.

Eine direkte Messung des Sr-90 ist am Proportionalzählrohr aufgrund der zu geringen Energie des Sr-90 nicht möglich. Gemessen wird das Tochternuklid Yttrium-90 (Y-90). Dieses bildet sich relativ schnell nach, so dass nach einer Zeit von ca. 18 Tagen ein säkulares Gleichgewicht erreicht ist. Das bedeutet, dass die Aktivität der Tochter (Y-90) gleich der Aktivität der Mutter (Sr-90) ist. Y-90 hat eine wesentlich kürzere Halbwertszeit (64,1 Stunden) als das Mutternuklid Sr-90 (28,78 Jahre), darüber hinaus ist die Energie des Y-90 deutlich höher und daher auch besser messbar.

6.4.1.2 Messprinzip der Proportionalzählrohre (Gasgefüllte Detektoren)

Bei der Aktivitätsbestimmung von Strontium 90 in Umweltproben wurde bei diesen Untersuchungen ein Messgerät mit gasgefüllten Detektoren verwendet, so genannte Proportionalzählrohre, mit dem bis zu 10 Proben simultan gemessen werden können (Alpha-Beta Low Level Counter der Fa. Berthold Technologies)

Gasgefüllte Detektoren besitzen alle den gleichen prinzipiellen Aufbau. Sie bestehen aus einem Gasraum, in dem ein aufgeladener Kondensator eingebaut ist. Tritt in diesen Gasraum ionisierende Strahlung ein, werden Ionen erzeugt, die zur (partiellen) Entladung des Kondensators führen und mit der Messung des dann fließenden Stromes wird die Registrierung der Ionisierungsvorgänge möglich. Die Höhe des registrierten Signals hängt somit vom Ionisierungsvermögen der jeweiligen Strahlung ab.

Die in dem Messgerät verwendeten Proportionalzählrohre sind im Aufbau und Funktion im Prinzip identisch zum Geiger-Müller-Zählrohr, es handelt sich also um eine mit Gas gefüllte Kammer, in der die Strahlung (das Photon) durch Ionisation Ladungsträger erzeugt, die durch eine elektrische Spannung abgesaugt werden. Aus messtechnischen Gründen ist diese Saugspannung so hoch, dass die erzeugten Ladungsträger genügend Energie gewinnen, um ihrerseits weitere Atome zu ionisieren. Es kommt zu einer Ladungsträgerlawine und an den Elektroden kommt genügend Ladung an, um als Strompuls gemessen zu werden.

Für die Kalibrierung dieser Geräte werden mehrere Standardpräparate (Sr-90), die eine bekannte Menge Aktivität enthalten (z.B. 0,1-1,0 Bq in 0,1er Schritten) eine bestimmte

Zeitdauer gemessen. In dieser Zeitspanne werden sämtliche Stromimpulse addiert und man erhält einen Durchschnittswert je Kalibrierpräparat für die gemessenen Impulse pro Sekunde. Aus den unterschiedlichen Aktivitäten und den dazugehörigen Impulsen pro Sekunde des Messgerätes lässt sich hieraus mittels Regressionsanalyse eine Gleichung bestimmen. Somit können Messwerte von Proben (Impulse pro Sekunde) umgewandelt werden in Bq. Der Messwert wird anschließend auf die ursprüngliche Masse der Probe zurückgerechnet und man erhält ein Ergebnis in Bq/kg.

7 Zusammenfassung

In einem Umkreis von bis zu 20km um die Schachanlage Asse II wurde in 3 Radien von 1km, 5km bzw. 20km verschiedene Umweltmedien beprobt, mit denen die Bürger der Region direkten Kontakt haben können. Zu den untersuchten Probenarten gehörten Boden, Gras, Mais, Getreide, Raps, Zuckerrüben, Milch, diverse Obst- und Gemüsesorten, wie auch Brunnenwasser, Nadeln und Laub.

Soweit möglich wurde jede Probenart zweimal jährlich durch Mitarbeiter der Bezirksstelle Braunschweig der Landwirtschaftskammer Niedersachsen beprobt. Die genommenen Proben stammten jeweils direkt vom Feld und die jeweiligen Probenahmeorte wurden per GPS erfasst. Es wurden nur Proben der umliegenden Region in diesem Untersuchungsprogramm berücksichtigt.

Alle Proben wurden in den Laboren der LUFA Nord-West sowohl gammaspektrometrisch, als auch auf die Aktivität von Strontium 90 hin untersucht. Wasserproben wurden darüber hinaus auf die Aktivität von Tritium hin überprüft.

In den gemessenen Proben konnten spezifische Aktivitäten von Kalium 40 (K-40), Cäsium 137 (Cs-137), Radium 226 (Ra-226) sowie von Strontium 90 (Sr-90) nachgewiesen werden. K-40 ist ein natürlich vorkommendes Isotop und daher überall anzutreffen. Die Aktivitäten von Ra-226 lassen sich auf den natürlichen Zerfall von Uran zurückführen, bei dem dieses Isotop entsteht. Die gefundenen Aktivitäten von Cs-137 und Sr-90 sind vergleichbar mit Vorjahreswerten und den Mittelwerten, die für das gesamte Bundesgebiet vorliegen und sind somit auf die Kernwaffenversuche der 60er Jahre und auf das Reaktorunglück von Tschernobyl zurückzuführen. Tritium konnte in keiner der Proben oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen werden.

Ein Aktivitätsbeitrag der Schachanlage Asse ist nicht erkennbar bzw. nachweisbar.